

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-294225

(43) 公開日 平成9年(1997)11月11日

(51) Int.Cl. <sup>4</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 N 5/232			H 0 4 N 5/232	Z
G 0 3 B 17/00			G 0 3 B 17/00	Z
G 0 6 T 3/00			G 0 6 F 15/66	3 6 0

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 13 頁)

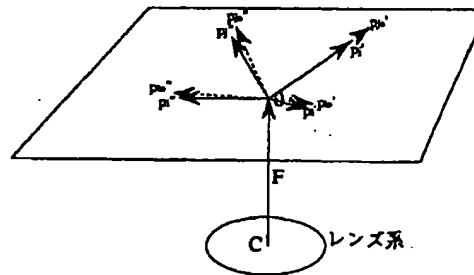
(21) 出願番号	特願平8-273294	(71) 出願人	000008747 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(22) 出願日	平成8年(1996)10月16日	(72) 発明者	江尻 公一 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
(31) 優先権主張番号	特願平8-39514	(72) 発明者	青木 伸 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
(32) 優先日	平8(1996)2月27日	(72) 発明者	関 海克 東京都中央区勝鬨3丁目12番1号 リコーシステム開発株式会社内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	(74) 代理人	弁理士 鈴木 誠 (外1名)

(54) 【発明の名称】 画像歪み補正用パラメータ決定方法及び撮像装置

(57) 【要約】

【課題】 撮影済み画像の歪みを補正する汎用的方法を実現する。

【解決手段】  $p_i'$  と  $p_i''$ 、 $p_j'$  と  $p_j''$  はそれぞれ同一地点より異なったカメラ方位で同一点を撮影した画像平面上の観測点である。 $p_{io}'$  と  $p_{io}''$ 、 $p_{jo}'$  と  $p_{jo}''$  はそれぞれ観測点の歪みが補正された真の位置を表している。Cはレンズ系の光学中心を示す。誤差評価値  $E = \{ \angle p_{jo}' C p_{io}' - \angle p_{jo}'' C p_{io}'' \}^2$  が極小となるように、歪曲収差関数  $f(\Phi) = 1 - A\Phi^2 + B\Phi^4$  の2次、4次の歪曲収差係数A、Bを推定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 デジタルカメラ等の撮像装置によって一地点から撮影された共通パターンを含む複数枚の画像より、複数組の対応した観測点を検出し、それら観測点の、撮像装置の撮像系の光軸に対する角度を計算し、求められた角度の情報に基づいて当該画像に対する歪み補正のためのパラメータを推定することを特徴とする画像歪み補正用パラメータ決定方法。

【請求項2】 請求項1記載の画像歪み補正用パラメータ決定方法において、撮像系のレンズの光学中心と画像面との距離を仮定して、レンズの歪曲収差係数を推定することを特徴とする画像歪み補正用パラメータ決定方法。

【請求項3】 請求項1記載の画像歪み補正用パラメータ決定方法において、撮像系のレンズの歪曲収差係数、並びにレンズの光学中心と画像面との距離を推定することを特徴とする画像歪み補正用パラメータ決定方法。

【請求項4】 画像を撮影するデジタルカメラ等の撮像装置において、撮影した画像の歪み補正のためのパラメータが、外部よりアクセス可能なメモリに保存されることを特徴とする撮像装置。

【請求項5】 画像を撮影するデジタルカメラ等の撮像装置において、撮影した画像の歪み補正のためのパラメータが画像のデータの一部として、外部よりアクセス可能なメモリに保存されることを特徴とする撮像装置。

【請求項6】 画像を撮影するデジタルカメラ等の撮像装置において、撮影した画像の歪み、明るさ及び色合いの補正のためのパラメータが、外部よりアクセス可能なメモリに保存されることを特徴とする撮像装置。

【請求項7】 請求項6記載の撮像装置において、少なくとも一部のパラメータは画像のデータの一部として、外部よりアクセス可能なメモリに保存されることを特徴とする撮像装置。

【請求項8】 画像を撮影するデジタルカメラ等の撮像装置において、複数のメモリを有し、撮影した画像の歪み、明るさ及び色合いの補正のためのパラメータの保存場所を該複数のメモリより任意に選択可能であることを特徴とする撮像装置。

【請求項9】 撮影した2枚の画像から請求項1記載の方法により画像歪み補正用パラメータを推定して外部よりアクセス可能なメモリに格納する手段を有することを特徴とする請求項4、5、6、7又は8記載の撮像装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、一般的にはデジタルカメラ等によって撮影された画像の処理に係り、より詳しくは、デジタルカメラ等により撮影された画像の歪み等の補正及びデジタルカメラ等の撮像装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 デジタルカメラ、ビデオカメラ等の撮像装置によって撮影された画像には、いわゆるレンズ系の歪曲収差によって、像が本来あるべき位置からずれた位置に結像することによる幾何学的な歪みが含まれている。これまで、レンズの設計技術によって歪曲収差を回避する努力がなされてきた。しかし、デジタルカメラ、ビデオカメラ等のレンズ系は、ズーム機能や自動焦点機能等の装備が一般的になるなど高機能化が進むにつれて、レンズ設計技術だけでは歪曲収差の回避が困難になっている。

【0003】 その一方で、デジタル画像の高精細化に伴って、画像計測、画像合成、画像編集等の新たなニーズが登場し、今後も増加の一途であるため、画像の高精細化、高品質化に対する要求がますます高まると予想される。しかし、現在のデジタルカメラ等は、そのような目的を達成するための条件を十分に満たしているとは言い難い。

【0004】 例えば、画像の貼り合わせ合成の場合を考える。現在のカメラレンズは、最大7%もの歪曲収差がある。このような歪曲収差による画像の幾何学的歪みは、画像を1枚1枚単独で利用する場合にはそれほど大きな問題にはならないことが多いであろう。しかし、複数枚の画像を2次元的に貼り合わせて大きな画像を合成する場合には、画像の境界でミスマッチが生じてしまい、画像間のスムーズな接続が得られないため、歪曲収差の補正は不可欠である。さらに、現在のデジタルカメラ等は、ホワイトバランスやダイナミックレンジが画像1枚ごとに設定されるため、複数の画像を貼り合わせる場合には、隣り合った画像の境界で明るさや色合いの不連続が生じやすい。

【0005】 同様のことは、多重ズームイン/ズームアウトにより、解像度の異なった複数枚の画像を重ね合わせ合成する場合にも言える。異なった方位から対象物を撮影した画像より、対象物の3次元的情報を抽出するような計測分野においても、幾何学的精度の高い画像が要求される。

【0006】 高い精度を要求される宇宙観測、医学応用等の個別分野では、テーブルルックアップ方式により画素位置毎に歪曲収差を高精度に補正する技術が利用されている。しかし、この歪みは非線形歪みであり、それに関与するパラメータは焦点距離、ピント位置、絞りがあり、補正テーブルを作るにはこれら3つのパラメータを高い精度で検出する必要があるが、これが容易でない。そのため、テーブルルックアップ方式は、固定焦点レンズ系の応用に限られていた。例えば特開平3-242526号の「カメラの歪曲収差更正方法」では、レンズ系が固定された状態で白黒縞パターン（テストチャート）を撮影して歪曲収差パラメータを推定するので、ピントずらし、ズーム等で条件が変わると、それぞれの条件で白黒縞パターンを撮影し直してパラメータの推定を行う

必要がある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の歪曲収差補正技術には、上に述べたように固定焦点レンズ系の応用に制限されるという問題点もあるが、さらに大きな問題点は、保存されている撮影済み画像に対し歪曲収差補正を施すといった目的には適用できないことである。

【0008】本発明の目的は、上に述べた問題点を解消し、デジタルカメラ等によって撮影された画像の幾何学的歪みを高精度に補正するための、より汎用性のある技術を提供することにある。

【0009】本発明のもう一つの目的は、撮影した複数の画像の張り合わせ合成等の際に必要な1枚1枚の画像の歪み、明るさ、色合いの高精度な補正を、撮影に利用したデジタルカメラ等とは別のコンピュータ等の機器で容易に行うことができるようにしたデジタルカメラ等の撮像装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、デジタルカメラ等の撮像装置によって撮影された複数枚の画像の情報を用いて、その画像に対する歪み補正のためのパラメータを決定する方法が提供される。この方法の特徴は、一地点から撮影された、共通する（同一の）パターンを含む複数枚の画像を用い、これら画像より複数組の対応した観測点を検出し、それら観測点の撮像系の光軸との角度（観測点をパターンの代表点と考えればパターンの光軸とのなす角度とも言える）を計測し、求められた角度の情報に基づいて当該画像の歪み補正のためのパラメータを推定することである（請求項1）。画像歪み補正用パラメータとして、撮像系のレンズの歪曲収差係数、あるいは歪曲収差係数並びにレンズの光学中心と画像面との距離が推定される（請求項2、請求項3）。

【0011】また、本発明によれば、画像を撮影するデジタルカメラ等の撮像装置が提供される。この撮像装置\*

【0015】

$$(\phi_{io'} - \phi_{jo'})^2 = (\phi_{io''} - \phi_{jo''})^2 \quad (2)$$

【0016】

$$f(\phi) = 1 - A\phi^2 + B\phi^4 \quad (3)$$

A, Bは定数

【0017】

$$E = \sum_{i,j} \{(\phi_{io'} - \phi_{jo'})^2 - (\phi_{io''} - \phi_{jo''})^2\}^2 \quad (4)$$

【0018】

$$\sqrt{x^2 + y^2} = R \tan(\phi') \quad (5)$$

【0019】上記（3）式が歪曲収差関数である。本発明の原理は、同じ対象物を同一地点から異なった撮影条件で撮影した2枚（又はそれ以上）の画像の情報から、

\*の特徴は、撮影した画像の歪み補正のためのパラメータが外部よりアクセス可能なメモリに保存されること（請求項4）、撮影した画像の歪み補正のためのパラメータが画像のデータの一部として外部よりアクセス可能なメモリに保存されること（請求項5）、撮影した画像の歪み、明るさ及び色合いの補正のためのパラメータが、外部よりアクセス可能なメモリに保存されること（請求項6）、歪み、明るさ及び色合いの補正のための少なくとも一部のパラメータは画像のデータの一部として外部よりアクセス可能なメモリに保存されること（請求項7）、複数のメモリを持ち、撮影した画像の歪み、明るさ及び色合いの補正のためのパラメータの保存場所を該複数のメモリより任意に選択可能であること（請求項8）、撮影した2枚の画像より本発明の画像歪み補正用パラメータ決定方法によって画像歪み補正用パラメータを推定して外部よりアクセス可能なメモリに格納する手段を有すること（請求項9）である。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を明らかにするため、図面を用いて本発明を具体的に説明する。

【0013】まず、画像の歪み補正に関して説明する。図1は、ある対象物をカメラで撮影した時の光軸と入射光のなす角度 $\phi_i, \phi_j$ と、その像の光軸に対する角度 $\phi_{i'}, \phi_{j'}$ 、同じ対象物をカメラアングルをずらして撮影した時の像と光軸とのなす角度 $\phi_{i''}, \phi_{j''}$ （図中の破線）の関係を示している。Rはレンズ系の光学中心から画像面までの距離である。このときに、次に示す

（1）式から（5）式の関係が成り立つ。ただし、 $\phi$ は真の値、 $\phi_{io'}$ 、 $\phi_{jo'}$ 、 $\phi_{io''}$ 、 $\phi_{jo''}$ は観測値 $\phi_{i'}$ 、 $\phi_{j'}$ 、 $\phi_{i''}$ 、 $\phi_{j''}$ から算出した真値の予測値である。

【0014】

【数1】

【数2】

【数3】

【数4】

【数5】

その歪み補正のためのパラメータとして、（3）式の2次、4次の歪曲収差係数A、Bを推定することによって、歪曲収差による画像の歪みの補正を達成しようとす

るものである。上記(5)式中のRはレンズ系の光学中心から画像面までの距離であるが、このRの値は、後述の「一次元の場合」には予め仮定して歪曲収差係数A、Bを決定する(Rの値はある程度予測できる場合が多いから)。しかし、後述の「二次元の場合」には、歪曲収差係数A、Bを求める処理において、Rの値も画像の情報に基づいて決定される。ただし、「一次元の場合」においても同様にR値を推定してもよいことは当然である。

【0020】次に、歪み補正用パラメータを決定する処理の具体例を説明する。この処理においては、一地点から同じ対象物(パターン)を異なった条件で撮影した2枚の画像より、対応した点(観測点)を2組以上抽出する。例えば、カメラを左右に振ったり回したりしながら同じ対象物を前後して撮影した2枚の画像より、共通の(同一の)パターンを抽出し、そのパターン上の特定点を観測点として用いる。このような画像として、デジタルカメラやビデオカメラで人物等を撮影したビデオフィルムの相前後した2コマの画像を例に挙げることができよう。そして、観測点が光軸を通る直線上に整列する形になるケースを「一次元の場合」と呼び、そうではなく、観測点が二次元画像平面上に分布する形になる場合\*

$$\begin{aligned}\phi_i' &= \arctan(\sqrt{x_i'^2 + y_i'^2} / R) \\ \phi_i'' &= \arctan(\sqrt{x_i''^2 + y_i''^2} / R) \\ \phi_j' &= \arctan(\sqrt{x_j'^2 + y_j'^2} / R) \\ \phi_j'' &= \arctan(\sqrt{x_j''^2 + y_j''^2} / R)\end{aligned}\quad (6)$$

【0025】ステップS3において、前ステップで得られた $\phi_i'$ 、 $\phi_i''$ と $\phi_j'$ 、 $\phi_j''$ を(7)式の $\phi'$ に代入し解 $\Phi$ を求める。その解を $\phi_{io}'$ 、 $\phi_{jo}'$ 、 $\phi_{io}''$ 、 $\phi_{jo}''$ とする。

$$\phi' = \phi - A\phi^3 + B\phi^5 \quad (7)$$

【0027】この(7)式は、前記(1)式に前記(3)式を代入して得られた方程式であり、ここではB=0であるから、この方程式は3次の既約形方程式 $A\phi^3 - \phi + \phi' = 0$ となる。これを解くためには、3次方程式の解法(カル★

$$\begin{aligned}s &= q^2 + p^3 \\ u &= \{-q + \sqrt{S}\}^{\frac{1}{3}} \\ v &= \{-q - \sqrt{S}\}^{\frac{1}{3}}\end{aligned}\quad (8)$$

【0029】しかして、解は次のように表わされるが、ここでは実数解のみを考えるので $\phi_1$ のみを利用すればよい。

$$\begin{aligned}\phi_1 &= u + v \\ \phi_2 &= -(u + v)/2 + i\sqrt{3}(u - v)/2 \\ \phi_3 &= -(u + v)/2 - i\sqrt{3}(u - v)/2\end{aligned}\quad (9)$$

【0031】なお、観測点が光軸を通る直線上に並んで 50 いる一次元の場合、解 $\phi_1$ を前記誤差評価式(4)に代

\* (図2参照)を「二次元の場合」と呼ぶことにする。

【0021】[一次元の場合の例] まず、一次元の場合における歪み補正用パラメータ決定処理の一例を説明する。図3は、その概略を示すフローチャートである。

【0022】最初のステップS1において、 $A=A_0$ 、 $B=0$ に初期設定する。また、Rも予め決まった値を与える。

【0023】次のステップS2において、2枚の画像より、それらに共通する評価用パターンを抽出する。そして、観測点として、一方の画像における評価用パターン上の特定点と、それに対応した他方の画像の評価用パターン上の特定点とのペアを2組検出する。ここでは一次元の場合を想定しているので、これら観測点は光軸を通る直線上に整列する。一方のペアの観測点 $P_i'$ 、 $P_i''$ のそれぞれの座標系における座標値( $X_i'$ 、 $Y_i'$ )、( $X_i''$ 、 $Y_i''$ )、他方のペアの観測点 $P_j'$ 、 $P_j''$ のそれぞれの座標系における座標値( $X_j'$ 、 $Y_j'$ )、( $X_j''$ 、 $Y_j''$ )を前記(5)式に従って角度変数 $\Phi$ で表現する。すなわち

【0024】  
【数6】

※ $\phi''$ とする。

【0026】

【数7】

★ダノの公式)により、

$$p = -1 / (3A), \quad q = \phi' / (2A)$$

と置き、続いて次のように変数変換をする。

【0028】

【数8】

☆【0030】

【数9】

☆

入すれば次の誤差評価式が得られる。

【0032】

$$E = 4 \sum_{i,j} \left\{ \left( (-\theta_{io}') \frac{1}{3} - (-\theta_{jo}') \frac{1}{3} \right)^2 - \left( (-\theta_{io}'') \frac{1}{3} - (-\theta_{jo}'') \frac{1}{3} \right)^2 \right\}^2 \quad (10)$$

【0033】前記(7)式の $\Phi'$ ,  $\Phi''$  (測定値) に対応する解を $\Theta'$ ,  $\Theta''$  と置くと $\Theta'$ ,  $\Theta''$  はパラメータAと測定値 $(X', Y')$ ,  $(X'', Y'')$  によって定義されるから、EはAの関数として表すこともでき、したがって(7)式から $\partial E / \partial A$ を求めることができる。同様に、 $\partial E / \partial B$ も求めることができる。

【0034】さて、ステップS4において、前記(10)式により誤差評価値Eを算出し、そして、誤差評価値Eの収束判定をする。誤差評価値Eが収束していないと判断したときは、次のステップS5において、 $\Delta E = (\partial E / \partial A) \Delta A$ の関係式からAの増分 $\Delta A$ を求め(前記(10)式又は後記(12)式参照、ただし、 $\Delta E = E$ )、Aの現在値に $\Delta A$ の値を加えた値をAの値とし、ステップS3に戻る。ステップS4で収束したと判断されるまでステップS3からステップS5の処理ループが繰り返される。

【0035】ステップS4で収束したと判断されたときは、Aの値が決まったので、今度はBを決めるためにステップS6に進み、Bを初期値 $B_0$ に設定する。次のステップS7において、2枚の画像よりBの決定のための別の共通パターンがあるか調べる。別の共通パターンが見つからなければ処理は終わる(Bは初期値 $B_0$ に決まる)。

【0036】別の共通パターンが見つかったならば、次のステップS8において、ステップS2と同様に、その共通パターンを評価用パターンとして、それぞれの評価用パターン上の対応した観測点のペアを2組検出し、各観測点の座標を角度変数 $\Phi$ で表す。

【0037】次のステップS9において、前ステップで求められた $\Phi i'$ ,  $\Phi i''$ ,  $\Phi j'$ ,  $\Phi j''$ を前記(7)式に代入し、解 $\Phi$ を求める。その解を $\Phi'_{io}$ ,  $\Phi'_{jo}$ ,  $\Phi'_{io''}$ ,  $\Phi'_{jo''}$ とする。そして、次のステップS10において、前記(10)式により誤差評価値Eを算出し、その収束判定を行う。誤差評価値Eが収束していないと判断されたならば、次のステップS11において、 $\Delta E = (\partial E / \partial B) \Delta B$ の関係式からBの増分 $\Delta B$ を求める(前記(10)式又は後記(11)式若しくは(12)式参照、ただし、 $\Delta E = E$ )。そして、Bの現在値に前ステップで求めた $\Delta B$ の値を加えた値をBの値とし、ステップS9に戻る。ステップS10で誤差評価値Eが収束したと判断されるまで、ステップS9からステップS11までの処理ループが繰り返される。

$$E = (\angle p_{jo'} C p_{io'} - \angle p_{jo''} C p_{io''})^2 \quad (11)$$

【0045】この(11)式は角度で誤差を評価する式であるが、これを(x, y)座標値で表現すれば次の誤

\*【数10】

※【0038】ステップS10でEが収束したと判断されたならば、A, B共に値が決まったということであり処理は終了する。以上のようにして、A, Bが決まる。Rも予め分かっているから、必要な歪み補正用パラメータは決定した。

【0039】【二次元の場合の例】次に、二次元の場合における歪み補正用パラメータ決定処理の一例を説明する。図4は、その概略を示すフローチャートである。

【0040】最初のステップS21において、 $A = A_0$ ,  $R = R_0$ ,  $B = 0$ の初期設定が行われ、また、 $\Delta R$ として適当に小さな値が設定される。

【0041】次のステップS22において、2枚の画像より、それらに共通するパターンを評価用パターンとして抽出する。そして、観測点として、一方の画像における評価用パターン上の特定点と、それに対応した他方の画像の評価用パターン上の特定点とのペアを2組検出する。一方のペアの観測点 $P i'$ ,  $P i''$ それぞれの座標系における座標値 $(X i', Y i')$ ,  $(X i'', Y i'')$ 、他方のペアの観測点 $P j'$ ,  $P j''$ のそれぞれの座標系における座標値 $(X j', Y j')$ ,  $(X j'', Y j'')$ を前記(6)式により角度変数 $\Phi$ で表現する。

【0042】なお、ここでは、前述の一次元の場合と異なり、評価用パターンもしくは観測点の相対的な位置関係は任意である。このような観測点と歪み補正の様子を図2に模式的に例示する。図2において、 $p i'$ と $p i''$ (又は $p j'$ と $p j''$ )は同一地点より異なったカメラ方位で同一点を撮影した画像平面上の観測点であり、これがステップS22において検出された一組の観測点のペアであり、 $p i o'$ と $p i o''$ (又は $p j o'$ と $p j o''$ )は、観測点の歪みが補正された真の位置を表している。なお、図2において、 $p i'$ と $p i o'$ は本来同一方位であるが、わざとずらして表されている。Cはレンズ系の光学中心を示す。

【0043】さて、物体間の角度は、カメラ方位の変化には依存しないから(光軸回りの回転があっても)、視点が移動しない限り常に

$$\angle p_{jo'} C p_{io'} = \angle p_{jo''} C p_{io''}$$

の関係が常に成り立つ(制約条件1)。すなわち、次式が成り立つ。

【0044】

【数11】

差評価式が得られる。

【0046】

【数12】

$$E = \left( \frac{x_{io}x_{jo} + y_{io}y_{jo} + R^2}{\sqrt{x_{io}^2 + y_{io}^2 + R^2}} - \frac{x_{io}x_{jo} + y_{io}y_{jo} + R^2}{\sqrt{x_{io}^2 + y_{io}^2 + R^2}} \right)^2 \quad (12)$$

【0047】処理の説明に戻る。ステップS23において前ステップで得られた $\Phi i'$ ,  $\Phi i''$ ,  $\Phi j'$ ,  $\Phi j''$ を

(7)式の $\Phi'$ に代入し解 $\Phi$ を求める。その解を $\Phi i o'$ ,  $\Phi j o'$ ,  $\Phi i o''$ ,  $\Phi j o''$ とする。次のステップS24において、前記(11)式により誤差評価値Eを算出し、誤差評価値Eの収束判定をする。収束したと判断されたときにはステップS26へ進む。そうでなければステップS25へ進み、 $\Delta E = (\partial E / \partial A) \Delta A$ の関係式から $\Delta A$ を求める(前記(10)式、(11)式又は(12)式参照、ただし、 $\Delta E = E$ )。そして、Aの現在値に $\Delta A$ の値を加算した値をAの値としてステップS23に戻る。誤差評価値Eが収束したと判断されるまで、ステップS23からステップS25までの処理ループが繰り返される。

【0048】ステップS24において、Eが収束したと判断されたときには、ステップS26に進む。ステップS26において、2枚の画像に共通する別のパターンが見つかるか調べる。見つからなければ、処理は終了する。見つかったならば、その共通パターンを新しい評価パターンとして用い、ステップS27以降の処理により改めてAの値(これをA'と置く)を求める。

【0049】まず、ステップS27においてA'に初期値A'oを設定する。次のステップS28において、ステップS22と同様に、2枚の画像の新しい評価パターン上の対応した観測点のペアを2組検出し、その観測点の座標値を角度変数 $\Phi$ に変換する。

【0050】次のステップS29において、前ステップで得られた $\Phi i'$ ,  $\Phi i''$ ,  $\Phi j'$ ,  $\Phi j''$ を(7)式の $\Phi'$ に代入し解 $\Phi$ を求める。その解を $\Phi i o'$ ,  $\Phi j o'$ ,  $\Phi i o''$ ,  $\Phi j o''$ とする。次のステップS30において、前記(11)式(もしくは(12)式)により誤差評価値Eを算出し、そして、誤差評価値Eの収束判定をする。収束したと判断されたときにはステップS32へ進むが、そうでなければステップS31へ進み、 $\Delta E = (\partial E / \partial A') \Delta A'$ の関係式から $\Delta A'$ を求め、この値をA'の現在値に加えた値をA'の値としてステップS29に戻る。

【0051】ステップS29からステップS31までの処理ループにより誤差評価値Eが収束すると、同ループを抜けてステップS32に進み、 $|A - A'|$ の収束判定を行う。収束していないと判断された場合には、ステップS33においてRの現在値に $\Delta R$ の値を加えた値をR

の新しい値とし、また、Aに初期値A'oを設定してから、ステップS22以下の処理を再び実行する。すなわち、Rを変更して、Aの値を改めて求めることになる。

2回目以降のステップS22において用いる評価パターンと観測点は1回目のステップ22で用いたものと同じでよく、必要な処理は、新しいR値を用いて1回目と同じ観測点の座標値を角度変数で表現し直す処理だけである。この後にステップS28に進んだ時にも同様であって、1回目のステップ28で検出したものと同じ観測点の座標値を新しいF値を用いて角度変数で表現し直すだけでよい。

【0052】さて、ステップS32において収束したと判断された場合、現在のA又はA'の値がAの値として決まり、またRの値も決定されたということであり、次にBの値を決めるためにステップS34に進む。

【0053】ステップS34において、Bに初期値B'oが設定される。次のステップS35において、ステップS22又はステップS28で最後に得られた $\Phi i'$ ,  $\Phi i''$ ,  $\Phi j'$ ,  $\Phi j''$ を(7)式の $\Phi'$ に代入して解 $\Phi$ を求める。次のステップS36において前記(11)式(若しくは(12)式)により誤差評価値Eを算出し、そして誤差評価値Eの収束判定をする。収束したと判断されたときには、歪み補正用パラメータA, B, Rの値が全て決まったので処理は終了する。収束していないと判断されたときには、ステップS37へ進み、 $\Delta E = (\partial E / \partial B) \Delta B$ の関係式から $\Delta B$ を求め、Bの現在値に $\Delta B$ の値を加算した値をBの値としてステップS35に戻る。ステップS35からステップS37までの処理ループがステップS36で誤差評価値Eが収束したと判断されるまで繰り返される。

【0054】なお、通常、レンズ系の歪みはそれほど大きくないので、光軸回りのカメラの回転がないという条件(制約条件2)の下では、図5に示すように、カメラを振って撮影した2枚の画像上の対応パターンを相互を連結すると、これがカメラアングル変化に伴う画像の移動ベクトルを表す。これは、ほぼ平行な移動ベクトル群である。この平行移動ベクトルをSとして、 $p j o' p j o'' // p i o' p i o'' // S$ の関係、すなわち、次の関係式が成り立つ。Sは前もって計測することができる。

【0055】

【数13】

$$\frac{11}{(x_{i0} - x_{j0}) / (y_{i0} - y_{j0})} = \frac{12}{(x_{j0} - x_{j0}) / (y_{j0} - y_{j0})} = \text{direction}(S) \quad (13)$$

【0056】

【数14】

$$(x_i - x_j) / (y_i - y_j) \approx (x_j - x_j) / (y_j - y_j) \approx \text{direction}(S) \quad (14)$$

【0057】この制約条件2を適用可能な場合には、  
(13)式、(14)式を利用して、計算精度を向上させることができることは言うまでもない。また、いくつかの制約条件の中から適用する制約条件を適宜選択することによって、計算速度や計算精度を制御することも可能である。

【0058】歪み補正用パラメータを1回で決定する必要はなく、複数回のサイクルで決定してもよい。例えば、共通パターンの中からコントラストの強い順番に小領域を抽出し（例えば、人物の顔面画像の場合、目の明部、次に鼻の明部、等々）、抽出したそれぞれの小領域上の観測点を用いて複数サイクルで歪み補正用パラメータを決定するようにしてもよい。この場合に、2次の歪曲収差を先に補正し、その後4次の歪曲収差を補正するようにしてもよい。

【0059】また、歪み補正に必要なパラメータを全て決定した後、2枚の画像の中心部から順に誤差評価を行って画像中心部分での誤差評価の感度を高め、しかる後に、決定されたパラメータを修正しながら画像の周辺部へ向かって誤差を計測評価するようにしてもよい。

【0060】以上に説明した処理を実施するためのシステム構成の一例を図6に示す。図6において、歪み補正の対象となる画像データは画像ファイル51に保存されており、必要な2枚の（又はそれ以上の枚数の）画像のデータが2枚以上の画像バッファ52に読み出される。画像バッファ52上の画像に共通する評価用パターンをパターン抽出部53で抽出する。演算制御部54は、抽出された評価用パターン上の観測点を検出し、前述のような処理を実行することによって歪曲収差補正用のパラメータを決定する。この処理のためのプログラムの記憶及び処理に関連したデータの記憶のためにメモリ55が利用される。

【0061】このようにしてパラメータA、B、Rの値が決まったならば、画像の歪曲収差補正を行うことができる。例えば、パラメータ推定の対象となった画像上の各画素の座標を(6)式により角度変数に変換し、その角度を(7)式の $\Phi'$ に代入して真の角度 $\Phi$ を求め、これを(5)式により補正画像上の座標に変換し、この座標に補正前の画像の画素値を与えるという処理を繰り返すことによって、歪曲収差による歪みが高精度に補正された画像を得ることができる。

【0062】次に、本発明によるデジタルカメラについて説明する。図7に、本発明によるデジタルカメラの一

例を示す。ここに示すデジタルカメラはカメラ本体100と光学ユニット101からなり、カメラ本体100は外部メモリとして着脱可能なメモリカードからなる画像メモリ102を有する。光学ユニット101は、一般的なデジタルカメラのレンズ胴鏡ユニットと同様のレンズ系、ズーム駆動機構、ピント調整機構、絞り機構などからなる。

【0063】カメラ本体100には、光学ユニット101により被写体の像が結像される撮像素子であるCCD103、このCCD103からの画像信号の読み出し、その画像信号の増幅、 $\gamma$ 変換、アナログ-デジタル変換などのための画像信号回路系104、光学ユニット101内のズーム駆動機構、ピント調整機構、絞り機構等に対する駆動回路系105、カメラの各部の制御及びデータ処理のためのCPU、RAM、ROM等からなる内蔵コンピュータ106、各種パラメータ等の記憶のためのデータメモリ107、カメラの機能の操作のための操作キーボード108、内蔵コンピュータ106と操作キーボード108及び外部のコンピュータ等との情報授受のためのインターフェース部109、さらに図示されていないが電池より上記各部に動作電力を供給する電源回路などからなる。データメモリ107と画像メモリ102は、カメラに接続された外部のコンピュータ等よりインターフェース部109及び内蔵コンピュータ106を介しアクセス可能である。

【0064】このデジタルカメラの保有するパラメータを、その設定方法とともに図8に例示する。操作キーボード108は、撮影時にカメラの機能を操作するために利用されるほか、これらのパラメータの記憶場所の指定にも利用される。図8に示したパラメータ以外にも、ズーム駆動、ピント調整駆動、絞り駆動その他の撮影条件に関連した各種パラメータもあるが、これは本発明の特徴とは直接関係がないので説明を割愛する。

【0065】図8に示すパラメータの中で、AとBは前述のように2次と4次の歪曲収差係数であり、Rはレンズ系の光学中心と画像面つまりCCD103の撮像面の距離、PxとPyはCCD103の水平方向と垂直方向の画素ピッチである。撮像画像の座標系の原点をレンズ系の光軸とCCDの撮像面との交点としたとき、撮像画像上の画素の座標 $(x', y')$ は画素ピッチPx、Pyを用いれば

$$(x', y') = (k' * Px, l' * Py)$$

と表すことができる。この画素の歪曲収差補正後の座標

を  $(x, y)$  とおくと、

$(k' * Px) / (l' * Py) = x' / y' = x / y$   
 が成り立つ。 $(k', l')$  は撮像画像上の画素  
 $(x', y')$  のデジタル座標であり、前述のパラメ  
 タ A, B の推定処理及び歪み補正処理の説明中において  
 は、実際には、このようなデジタル座標が利用される  
 が、このことについては説明簡略化のため触れなかつ  
 た。したがって、A, B, Px, Py, R が既知であれば、  
 前述のように撮影した画像の歪曲収差の補正が可能  
 である。

【0066】Px, Pyは、CCD103に固有のパラメ  
 ータであり通常は不変であるので、カメラ製造時に設定  
 されカメラ本体内のデータメモリ107に記憶される  
 が、後述のように、1枚1枚の画像データの一部として  
 画像メモリ102にも記憶させることができる。A, B  
 も本来は不変であるが、カメラ製造時のばらつきにより  
 製造時には正確には分からないため、カメラの使用初期  
 に、あるいは随時に、外部のコンピュータあるいはカメ  
 ラの内蔵コンピュータ106によって求めてデータメモ  
 リ107に記憶されるが、これも後述のように画像デー  
 タの一部として画像メモリ102にも記憶させることが  
 できる。Rは1枚1枚の画像の撮影時に駆動回路系10  
 5により検出して画像メモリ102に画像データの一部  
 として記憶されるが、1枚1枚の画像と対応させて、デ  
 ータメモリ107に記憶させることもできる。

【0067】画像を撮影する時、CCD103のダイナ  
 ミックレンジはそれほど大きくないため、人間の視感度  
 にあわせて範囲の画像信号を取り込むことを要求され  
 る。一般に利用される1色あたり8ビットの割り当てに  
 際しては、入力される画像信号の総平均がモノクロであ  
 るように色バランスをとり、さらに、画像信号の最大  
 値、最小値が予定された8ビットの範囲におさまるよう  
 に、つまり、輝度分布の中央値などがレンジの中心にな  
 るように、ゲインを調整してビットを割り当てる。これ  
 を受け持つのがγテーブルと画像信号増幅器のゲイン値  
 であり、これらは撮影条件に応じて適応的に変えられ  
 る。

【0068】図9は、γ変換テーブル(γ1, γ2)、  
 画像信号増幅器のゲイン値、これに関連した入力信号I  
 と出力信号Oの関係図であり、3つの異なる値の出力信  
 号O1, O2, O3が与えられたとき、γテーブル(γ  
 1とγ2)及びそのダイナミックレンジ(D1m\_D1Mと  
 D2m\_D2M)の違いによって、復元される入力信号(I1  
 1, I12, I13と、I21, I22, I23)が変わることを  
 表している。入力信号Iは一般に  
 $I = [\text{画像信号}] \times [\text{ゲイン値}]$   
 で表される。

【0069】色バランスについては、画像1枚ごとに、  
 「全部の色信号の総和はモノクロである」との仮定のも  
 とに各色信号を計算するので、カメラを向ける被写体の

色分布が偏っていれば、その画像の色がずれてしまう。  
 これが特に問題となるのが、カメラ方位を変えながら撮  
 影した複数の画像を繋ぎ合わせるような場合である。カ  
 メラ方位ごとに、風景によって画像が青みかかっていた  
 り、赤みがかっていたりするため、通常、その色成分の  
 合計値が変わる。ダイナミックレンジについても同様で  
 ある。入力光量や入力光の分布形状は画像ごとに化する  
 る。したがって、複数の画像を合成するような場合に  
 は、それら複数の画像間で色バランスをとりなおした  
 り、画像信号の再割り振りが必要となるが、その処理  
 は、オリジナルの画像データを復元してから行うことが  
 望まれる。

【0070】このオリジナル画像データの復元処理のた  
 めに、ダイナミックレンジに関して、各画像毎に、使用  
 したγ変換テーブルと画像信号増幅器のゲイン値を保存  
 しておき、あとで読み出すことができることが望まれ  
 る。また、色合わせに関しては、色別の画像信号平均  
 値、ダイナミックレンジを規定するゲイン値を画像毎に  
 保存しておき後で読み出すことができれば、より正確な  
 信号復元が可能となる。γ変換テーブルの種類は限られ  
 ているので、そのデータは通常は内部のデータメモリ1  
 07に記憶されるが、後述のように画像データの一部と  
 して画像メモリ102にも記憶させることができる。画  
 像信号増幅器のゲイン値、画像信号の色別平均値及びダ  
 イナミックレンジは、通常、撮影のたびに化するた  
 め、1枚1枚の画像データの一部として画像メモリ10  
 2に記憶されるが、1枚1枚の画像と対応させてデー  
 タメモリ107に記憶させることも可能である。

【0071】次に、カメラを最初に使用する時、あるい  
 は随時に、画像の歪曲収差係数A, Bを求めて設定する  
 方法を説明する。図10は、その手順を示すフローチャ  
 ートである。

【0072】まず、ある地点から、ある被写体が画角の  
 中心にくるカメラアングルで1枚目の画像を撮影する  
 (ステップS50)。同じ地点から同じ対象物を、カメ  
 ラアングルを少し振って、例えば対象物が中心から左又  
 は右に5度ほどずれた位置にくるようにして、2枚目の  
 画像を撮影する(ステップS51)。撮影された2枚の  
 画像のデータは画像メモリ102に保存され、また、撮  
 影時のレンズ中心と撮像面との距離Rの値はデータメモ  
 リ107に保存される。

【0073】次に歪曲収差係数A, Bの推定を行うわけ  
 であるが、これはカメラの内蔵コンピュータ106を利用  
 して行うことも、外部のコンピュータを利用して行う  
 ことも可能であり、操作キーボード108の操作によっ  
 て、いずれかを選択できる。前者の場合は、内蔵コンピ  
 ュータ106は、2枚の画像のデータとRの値を用い、  
 図3のフローチャートに示す手順に従ってA, Bを推定  
 し(ステップS53)、その結果をデータメモリに保存  
 する(ステップS54)。なお、図4のフローチャート



15

に示す手順を利用することも可能であるが、Rの値が既知であるから、1枚目と2枚目の画像撮影時のRの値が大きく変動しないことを前提にした場合、図3の手順を利用するほうが効率的である。このように内蔵コンピュータ106でA、B推定処理を実行するためには、そのプログラムを内蔵コンピュータ106のROM又はRAMに格納しておかなければならないので、カメラ側のメモリ容量に余裕がないような場合には外部コンピュータの利用を選択できる。

【0074】外部コンピュータを利用する場合には、その外部コンピュータをカメラに接続した状態で、操作キーボード108よりデータ転送を指示し、内蔵コンピュータ106の制御によりインターフェース部109を介して2枚の画像のデータとRの値を外部コンピュータへ転送する(ステップS55)。外部コンピュータにおいて、図3(又は図4)のフローチャートに示す推定処理の手順を実行するための専用プログラムにより、カメラから受け取った画像データ及びR値を用いA、Bを推定し(ステップS56)、推定結果をカメラに転送する(ステップS57)。カメラの内蔵コンピュータ106は、転送されてきたA、Bの推定値をインターフェース部109を介して取り込み、データメモリ107に格納する(ステップS58)。なお、推定されたA、Bの値を、操作キーボード108の操作によって入力し、これをデータメモリ107に格納させることも可能である。

【0075】さて、通常の撮影時においては、画像のデータは画像メモリ102に格納されるが、図8に例示したパラメータの記憶場所は、撮影者が操作キーボード108の操作により選択できる。このパラメータの記憶場所を選択できるようにしたのは、撮影された画像の補正処理に利用されるソフトウェアの環境に柔軟に対応できるようにするためである。

【0076】外部のコンピュータをカメラに接続して、同コンピュータ上で画像補正処理プログラムを使って画像の補正処理を実行する場合には、予め取り決めておくならば、パラメータをデータメモリ107に記憶させても画像メモリ102に記憶させてもよい。例えば、画素ピッチ $P_x$ 、 $P_y$ 、レンズ焦点距離 $f$ 、歪曲収差係数A、Bをデータメモリ107に記憶させ、レンズ中心と撮像面間距離R、F値、 $\gamma$ 変換テーブル値及び画像信号増幅器のゲイン値、画像信号の色別平均値(合計値でもよい)及びダイナミックレンジを1枚1枚の画像データの一部として画像メモリ102に記憶させ、外部コンピュータ上の画像補正処理プログラムで画像データとパラメータをそれぞれの記憶場所から取り込ませることができる。内蔵コンピュータ106によって歪曲収差の補正等を行う場合も記憶場所については同様である。

【0077】しかし、このようなパラメータの記憶場所の取り決めがない場合や、カメラに接続しない外部コンピュータで画像補正処理を行いたい場合などには、図8

16

に示したパラメータの少なくとも画像補正に必要なパラメータを画像データの一部として画像メモリ102に記憶させると都合がよい。例えば、全てのパラメータを画像データの一部として、画像メモリ102としてのメモリカードに記憶させるならば、そのメモリカードをカメラから引き抜き、カメラに接続されていない外部のコンピュータのメモリカード挿入部に挿入してデータを読み取らせ、そのデータを画像データとパラメータに分離したうえで画像の補正処理を実行させることができる。あるいは、カメラに接続した外部コンピュータへ画像メモリ102のデータを転送し、外部コンピュータにおいて画像データとパラメータとを分離させ画像補正処理を行わせることができる。

【0078】いずれにしても、撮影した1枚1枚の画像の歪み、明るさ、色合いの補正のために必要なパラメータを外部のコンピュータに容易に取り込むことができるため、複数の画像の合成等の際に画像の歪み、明るさ、色合いの高精度な補正が可能になる。

【0079】なお、画像データの標準フォーマットとしてSISRIFF、EXIF、TIFF/EPなどの規格があるが、そのいずれも、本発明の目的とするパラメータを格納する場所がない。しかし、画像データは冗長度が大きいので、画像データの一部をパラメータで置き換えても、実用上は悪影響はほとんどない。通常、画像データは8ビット又は16ビットの数値で表現されるから、例えば、画像の最初の1ライン分を利用してパラメータを格納することができる。以上、本発明によるデジタルカメラの例について述べたが、本発明はビデオカメラ、スキャナ等の他の撮像装置にも適用できるものである。

【0080】

【発明の効果】本発明による画像歪み補正用パラメータ決定方法は、デジタルカメラやビデオカメラ等によって撮影された画像から、その歪みを補正するためのパラメータを求めることができ、そのパラメータを用いることにより画像の高精度の歪み補正が可能となり、また、従来技術に比べ汎用性に優れている。

【0081】本発明による撮像装置は、撮影した画像のデータのみならず、その歪み補正のためのパラメータ、さらには明るさ及び色合いの補正のためのパラメータを、外部のコンピュータ等に容易に取り込み、撮影画像の歪み補正処理、さらには明るさ及び色合いの補正処理を行うことができる。また、補正処理に利用されるソフトウェア側の環境に応じて、補正用パラメータの記憶されるメモリを選択することができ、あるいは補正用パラメータを画像データの一部としてメモリに記憶させることができる。さらに、外部のコンピュータ等を利用することなく、画像の歪み補正のためのパラメータを求め、これを外部のコンピュータ等に容易に取り込み可能に保存することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】歪曲収差補正の基礎関係式を説明するための図である。

【図2】異なったカメラ方位で撮影された同一パターンの画像平面上の位置と、その歪み補正後の位置を示す図である。

【図3】歪み補正用パラメータ決定処理の一例を示すフローチャートである。

【図4】歪み補正用パラメータ決定処理の別の例を示すフローチャートである。

【図5】カメラの光軸回りの回転がない場合の画像の移動ベクトルを説明する図である。

【図6】歪み補正用パラメータ決定処理を実行するためのシステム構成の一例を示すブロック図である。

【図7】本発明によるデジタルカメラの一例の概略構成図である。

【図8】本発明によるデジタルカメラの保有するパラメータの例を示す図である。

【図9】 $\gamma$ 変換テーブル、画像信号増幅器のゲイン値、それに関連した入力信号及び出力信号の関係を示す図で

20

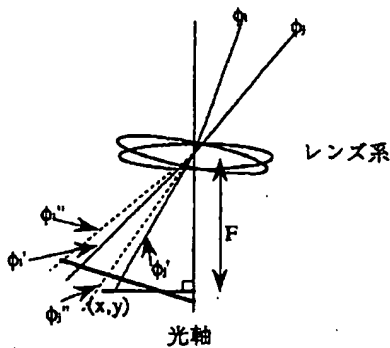
ある。

【図10】歪曲収差係数を求めて設定する手順を説明するためのフローチャートである。

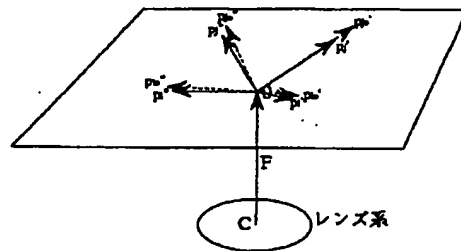
## 【符号の説明】

- 51 画像ファイル
- 52 画像バッファ
- 53 パターン抽出部
- 54 演算制御部
- 55 メモリ
- 100 カメラ本体
- 101 光学ユニット
- 102 画像メモリ (外部メモリ)
- 103 CCD (撮像素子)
- 104 画像信号回路系
- 105 駆動回路系
- 106 内蔵コンピュータ
- 107 データメモリ (内部メモリ)
- 108 操作キーボード
- 109 インターフェイス部

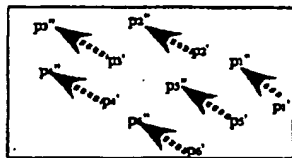
【図1】



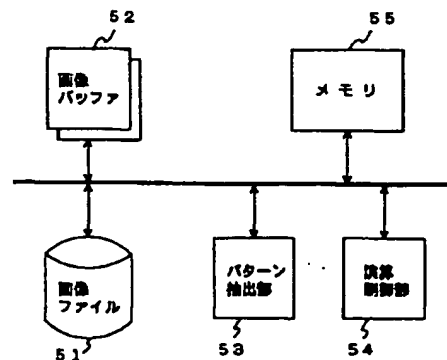
【図2】



【図5】

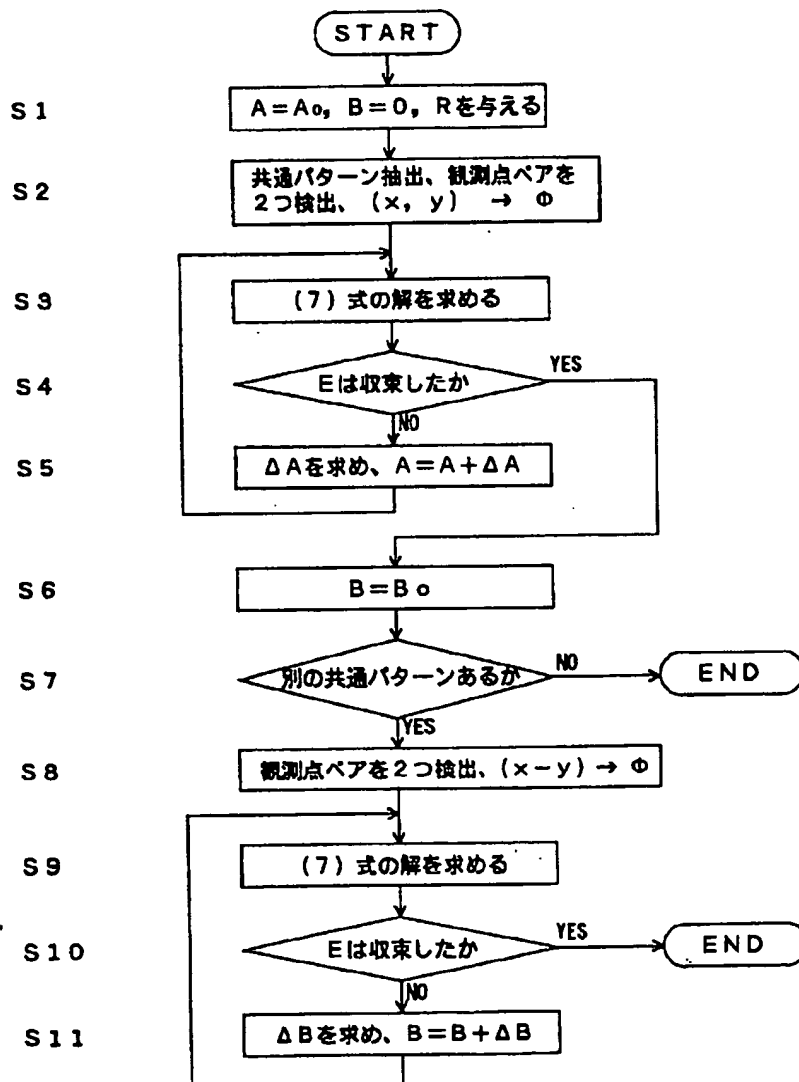


【図6】



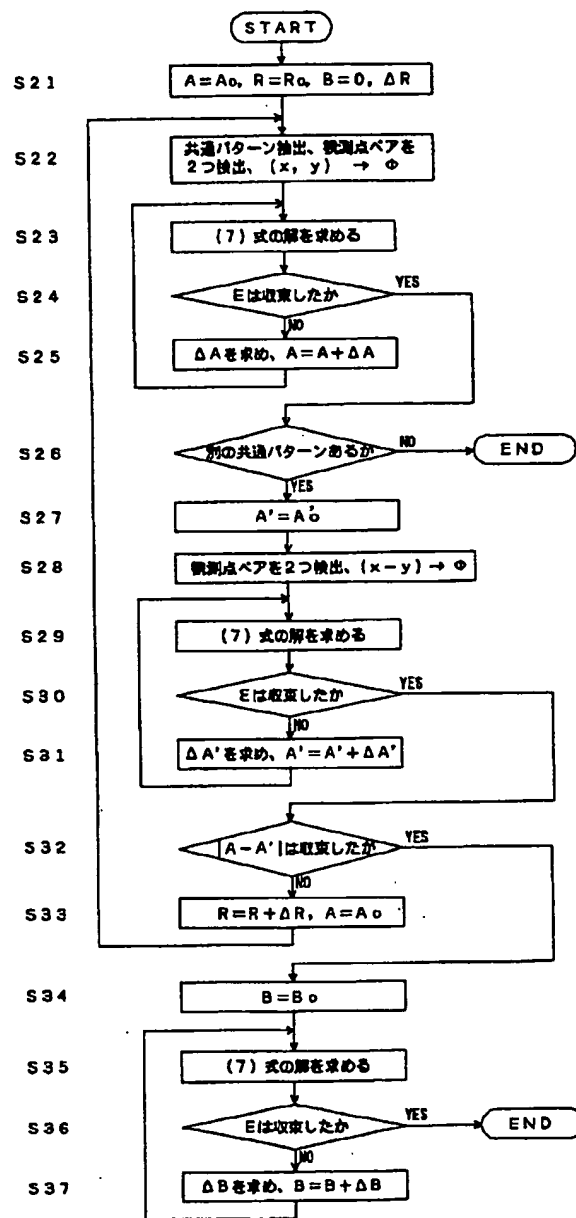
【図3】

## 一次元の場合のフロー

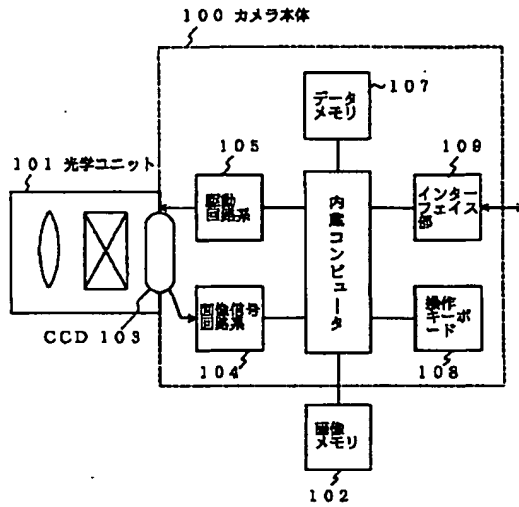


【図4】

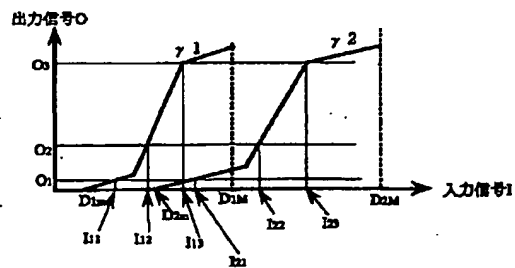
## 二次元の場合のフロー



【図7】



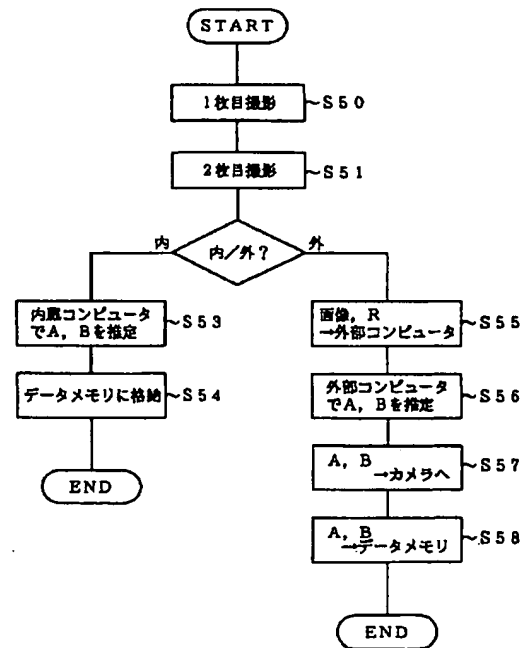
【図9】



【図8】

パラメータ	設定方法
画素ピッチ (水平、垂直) $x_0, y_0$	製造時設定
レンズ焦点距離 $f$	製造時設定
歪曲収差係数 A, B (2次, 4次)	使用初期外部機器より入力
レンズ中心と撮像面の距離 $R$	撮影時読取
F値 (または明るさを表すパラメータ)	撮影時読取
$\gamma$ 変換テーブル値と画信号アンプのゲイン値	撮影時読取
画信号の色別平均値およびダイナミックレンジ	撮影時読取

【図10】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**